1981

Turboréacteur double corps double flux
Twin shaft turbofan

CFM56-3

Mise en service *Entry into service*	1984
Poussée *Thrust*	82 à 105 kN *18 434 to 23 604 lb*
Consommation spécifique *Specific fuel consumption*	0.399 kg/DaN/h
Température entrée turbine (TET) *Turbine inlet temperature (TIT)*	1 373 °C *1 646 °K*
Débit d'air *Air flow rate*	289 - 322 kg/s *638 - 710 lb/s*
Taux de compression *Overall pressure ratio*	25.3
Taux de dilution *By-pass ratio*	5
Longueur *Length*	2 m 365 *7.76 ft*
Diamètre soufflante *Fan diameter*	1 m 524 *60 in*
Masse *Weight*	1 951 kg *4 301 lb*

Avions équipés avec ce moteur : Boeing 737-300, -400 et -500
Aircraft equipped with this engine:

Le CFM56-3

Après le succès du CFM56-2 sur le marché de la modernisation d'avions anciens, le CFM56-3, identifiable à la disposition latérale de ses équipements, consacre la réussite et pérennise le programme franco-américain en étant choisi par Boeing comme motorisation exclusive de leurs moyen-courriers de deuxième génération Boeing 737-300, -400 et -500, également appelés Boeing *737 Classic*. Le choix du CFM56 intervient à la suite d'une innovation technique réalisée par Hispano-Suiza consistant à déplacer la boîte d'accessoires du moteur sur le côté et l'idée de Snecma d'une nacelle originale par son fond aplati. En fait, l'avionneur américain n'a pas le choix. Pour répondre à la nécessité de faire moins de bruit et consommer moins de carburant, le CFM56 est le seul moteur disponible pour son avion !

CFM56-3 surnommé à l'époque " CFM56 Junior ".
Son boitier d'entrainement placé sur le côté dégage une garde au sol suffisante. Le taux de dilution a été réduit à 5 sur cette version qui présente comme originalité la plus visible une jonction des aubes de la soufflante pourvues de nageoires en leur partie médiane et un cône d'entrée d'air elliptique. (© SAE)

Développement

L'intégration du moteur sous la voilure relativement basse du Boeing 737 entraine quelques modifications : renforcement de la structure des ailes, accrochage du moteur avec un mât-pylône en porte-à-faux en avant de l'aile, reprise de la géométrie des becs de bord d'attaque et des volets de bord de fuite.

La garde au sol moteur avionné étant insuffisante, le diamètre de la soufflante dotée d'aubes à nageoires est réduit à 1,52 m (60 "), ce qui est compensé par un régime de rotation plus élevé. Un nouveau compresseur BP à trois étages est adopté. Développé autour du corps haute pression du CFM56-2, la chambre de combustion est toutefois retouchée avec des injecteurs de nouvelle technologie qui pulvérisent plus finement le kérosène, améliorant la combustion avec, pour corollaire, une diminution des pollutions et une augmentation du plafond de rallumage (l'altitude maximale à laquelle un moteur peut être rallumé).

Pour conserver une garde au sol suffisante, la nacelle voit sa base aplatie (ou elliptique), Cet aspect caractéristique fait que les techniciens surnomment parfois affectueusement le Boeing 737 " *couilles plates* " ou encore " *hamster joufflu* ". Grâce à son montage en position basse et la mise en place de portes à ouverture rapide, le moteur est facilement accessible pour l'entretien directement depuis le sol.

Le vol inaugural du moteur sur le Boeing 707-321 banc volant se déroule à partir de Mojave, en Californie, en février 1983. La campagne de mise au point démontre une faible signature sonore et ne dénote aucun souci malgré le profil ovoïde de la nacelle lors de décollages à pleine puissance avec un vent de travers de 26 kt (46 km/h). Si les premières versions du CFM56-3B poussent un peu moins que le -2, la version -3C qui apparait en 1986, offre des performances équivalentes à celle du -2A. En fonction du modèle avion est des choix des compagnies clientes, les CFM56-3B puis -3C se déclinent en plusieurs tarages.

Certification. Dans le cadre du processus de certification trois épreuves importantes se déroulent avec succès en bancs partiels : la rétention d'aubes de soufflante réalisée au banc partiel 18ER de Villaroche en fin octobre 1982 (**1**), l'ingestion d'oiseaux moyens (1.5 lb), en fosse, à Evendale et le mois suivant à Villaroche puis toujours au banc partiel, un tir de grêlons de 50 mm de diamètre, en février 1983. Enfin l'un des moteurs de développement (s/n 003) subi avec succès une série de 3 000 cycles " non-stop " en décembre 1982. Ces tests seront ensuite dupliqués, avec succès, en utilisant des moteurs complets.

Oiseaux dans un cylindre en polyéthylène expansé prêts pour la mise en place dans le canon multitube avant la projection dans le moteur ou la soufflante à tester. La masse de chacun des oiseaux est mentionnée ainsi que la couleur du tube du canon sont précisées sur les cylindres pour s'assurer au bon point d'impact de la masse souhaitée.

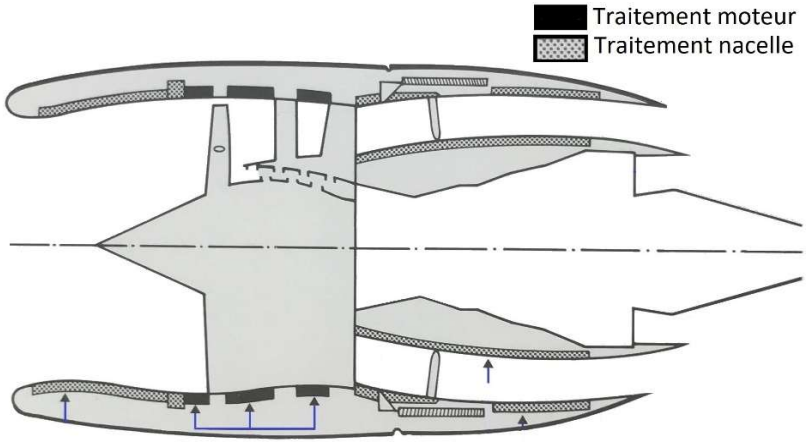
Certifié en janvier 1984 après une campagne d'essais de 1 300 heures puis mis en service en décembre 1984, le CFM56-3 offre un large éventail de poussées, de 82 à 98 kN. Très rapidement, différentes variantes sont développées pour répondre à la mise en service des nouvelles versions du 737 " Classic " et aux choix des compagnies aériennes.

Type de moteur	Poussée (kN)	Consommation spécifique (1)	Rapport de pression P/P global	Taux dilution	Température entrée turbine (°C)	Diamètre soufflante (m)	Longueur (m)	Masse (kg)
CFM56-3B2	97,90	0,392	23,9	4,9	1337	1,524	2,365	1 951
CFM56-3C1	104,50	0,399	25,3	5	1373	1,524	2,365	1 951

La poussée plus élevée CFM56-3B2/C, 97,9 kN de poussée, est à mettre au compte de l'ajustement du système de gestion de la puissance, qui autorise l'augmentation de la vitesse de rotation du rotor basse pression.

Incidents et accidents. En août 1987, un Boeing 737-300 de la compagnie Air Europa est victime d'une extinction double alors que l'avion traverse un violent orage : le rallumage est opérant toutefois, l'équipage décide de se poser en urgence. Neuf mois plus tard, en mai 1988, un Boeing 737-300 de la compagnie Taca Airlines perd la puissance de ses deux réacteurs lors de sa descente vers l'aéroport de la Nouvelle-Orléans et alors qu'il traverse une zone orageuse. Le commandant de bord et son copilote réussissent à poser l'avion sur un polder herbeux. Peu après ces incidents majeurs, un Boeing 737-300 de Continental Airlines perd de la puissance sur un moteur alors qu'il traverse de fortes précipitations. Bien que le CFM56-3 satisfasse pleinement aux critères de certification relatifs aux volumes de précipitations au-delà desquels le fonctionnement n'est plus assuré, CFMI, de son initiative, décide de " prendre le taureau par les cornes ".

Trois remèdes sont apportés : le profil du cône d'entrée d'air qui passe de conique à elliptique, plus efficace pour détourner la grêle vers la périphérie du rotor, donc hors du champ d'absorption du corps haute pression. La distance entre le bord de fuite des aubes de la soufflante et le bec de séparation des flux est accrue. Une nouvelle géométrie des vannes de décharge variables permettant de mieux canalise le flux d'air sortant du compresseur basse pression minimisant ainsi la quantité d'eau et de grêle qui pourrait être dirigés vers le flux primaire **(2)**. L'ensemble des modifications est complété par l'ajout d'un capteur de pression détectant l'extinction de la chambre de combustion et permettant son rallumage automatique du moteur.



Traitement acoustique du moteur CFM56-3 (© SAE)

Le premier-accident, dramatique, mettant partiellement en cause le moteur se déroule de nuit, le 8 janvier 1989 avec le Boeing 737-400 (Flight 92) de British Midlands. Après son décollage d'Heathrow pour Belfast et alors qu'il atteint 8 535 m (28 000 ft), l'avion est soudainement l'objet de violentes secousses provenant des à-coups de poussée du moteur gauche. Les pilotes pensent que c'est le moteur droit qui est en cause et le coupe. L'avion se retrouvant en monomoteur (qui est bien détérioré), les pilotes décident de se dérouter vers un terrain ~~de~~ très proche.

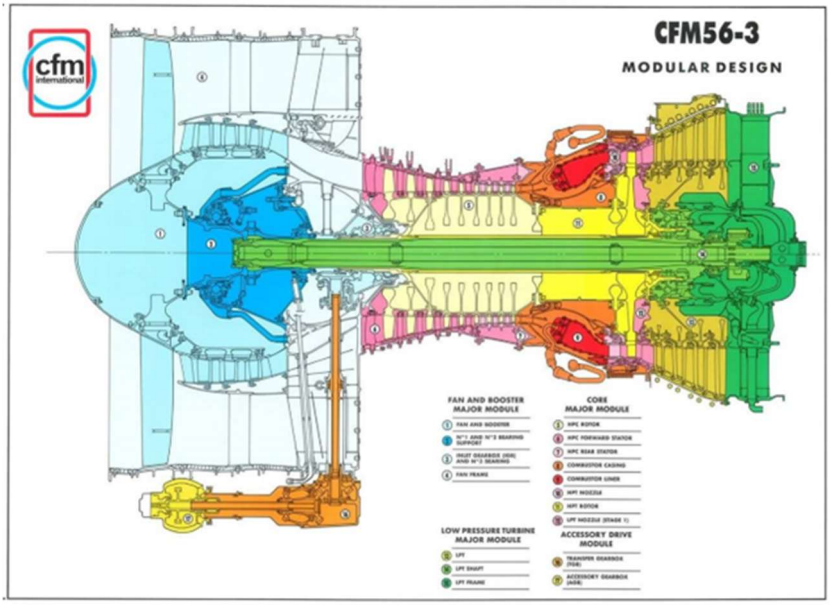
L'avion ne peut atteindre l'entrée de piste car le moteur gauche perd alors toute sa poussée et l'avion se brise à l'impact. Sur les 8 membres d'équipage et 118 passagers, 47 sont morts. Une aube de la soufflante du moteur gauche s'était rompue mais aucune indication en cockpit n'avait permis d'identifier que c'était ce moteur qui était la cause des à coup de poussée.

Suite au crash de l'avion, l'examen du moteur ayant démontré un mode de fatigue vibratoire (flottement) non décelé pendant le développement l'aube de soufflante a été modifiée avec un angle de nageoire différent et la mise en place d'amortisseurs au pied des aubes. Une vaste opération de rétrofit est menée sur près de 1800 CFM56-3 C en service.

Fiabilité. Vers la fin de la décennie 1980, le tiret -3 enregistre un temps de fonctionnement moyen sous l'aile de 18 000 heures ou 12 000 cycles avant la première dépose (ou " first run ") grande visite. Sa fiabilité est si avérée que 431 moteurs CFM56-3 ont dépassé les 20 000 heures de fonctionnement en première vie (c'est à dire sous l'aile avant leur premier passage en atelier). Un nombre croissant de CFM56-3 a dépassé plus de 30 000 heures de fonctionnement sans dépose, malgré des conditions d'exploitation très exigeantes.

Avec un taux de disponibilité de 99,98%, le CFM56-3 permet d'assurer une ponctualité au décollage constituant un record mondial dans sa catégorie. En décembre 1999, les derniers moteurs CFM56-3 sont sortis de la ligne d'assemblage. Aujourd'hui, plus de 4 500 moteurs CFM56-3 sont en service auprès de quelques 190 clients dans le monde ce qui en fait le réacteur le plus largement produit de toute l'histoire de l'aviation dans une gamme de puissance de 82 à 98 kN.

En fin 2024, les 4496 exemplaires du CFM56-3 construits pour équiper les 1989 Boeing 737 Classic avaient accumulé plus de 229 millions d'heures de vols en 162 millions de cycles auprès de 287 opérateurs dans le monde.



Conception modulaire du CFM56-3. Cette version utilise le générateur de gaz du CFM56-2 et une soufflante de diamètre réduit à 60 pouces (1.52 m) afin d'être incorporée sans problème à la nacelle du Boeing 737, plaquée sous voilure, et dont la hauteur est elle-même limitée par l'utilisation d'un train d'atterrissage sans modifications géométriques.
A noter que le profil du cône d'entrée d'air passe d'une forme conique à une forme elliptique afin de mieux centrifuger l'eau et la grêle hors du champ d'absorption du corps haute pression.
L'étage de compression intermédiaire (" booster ") situé entre la soufflante et le compresseur haute pression, est également modifié.

Le CFM 56-3 détient le record du monde de durée de vie sous l'aile sans dépose pour les courts et moyens courriers avec 40 729 heures ce qui représente 8 à 10 ans de vol sans dépose **(3)**.

Par rapport au Pratt & Whitney JT8 D-15 ou D-17 qu'il remplace, le CFM56-3 offre deux avantages :

- une importante diminution de la consommation spécifique se traduisant sur le B737-300 (qui offre par ailleurs plus de capacité que le B737-200) par une consommation par siège abaissée de 21 à 25%,
- une importante diminution du niveau de bruit avec des niveaux de : 88 EPNdB au décollage, 91 EPNdB de bruit latéral et 97 EPNdB au décollage en approche.

A titre indicatif, en 2023, soit en une soixantaine d'années (depuis les années 1960), le bruit des avions a été réduit de 25 EPNdB.

La famille des Boeing 737 " Classic "

Dérivant de la première génération de Boeing 737-100 et -200 " Original series " équipée de réacteurs Pratt & Whitney JT8-D, construite à 1206 exemplaires entre 1965 et 1988, le nouvel appareil présente un allongement de fuselage d'environ 2.90 m et une voilure renforcée en raison de la masse plus élevée du CFM56-3.

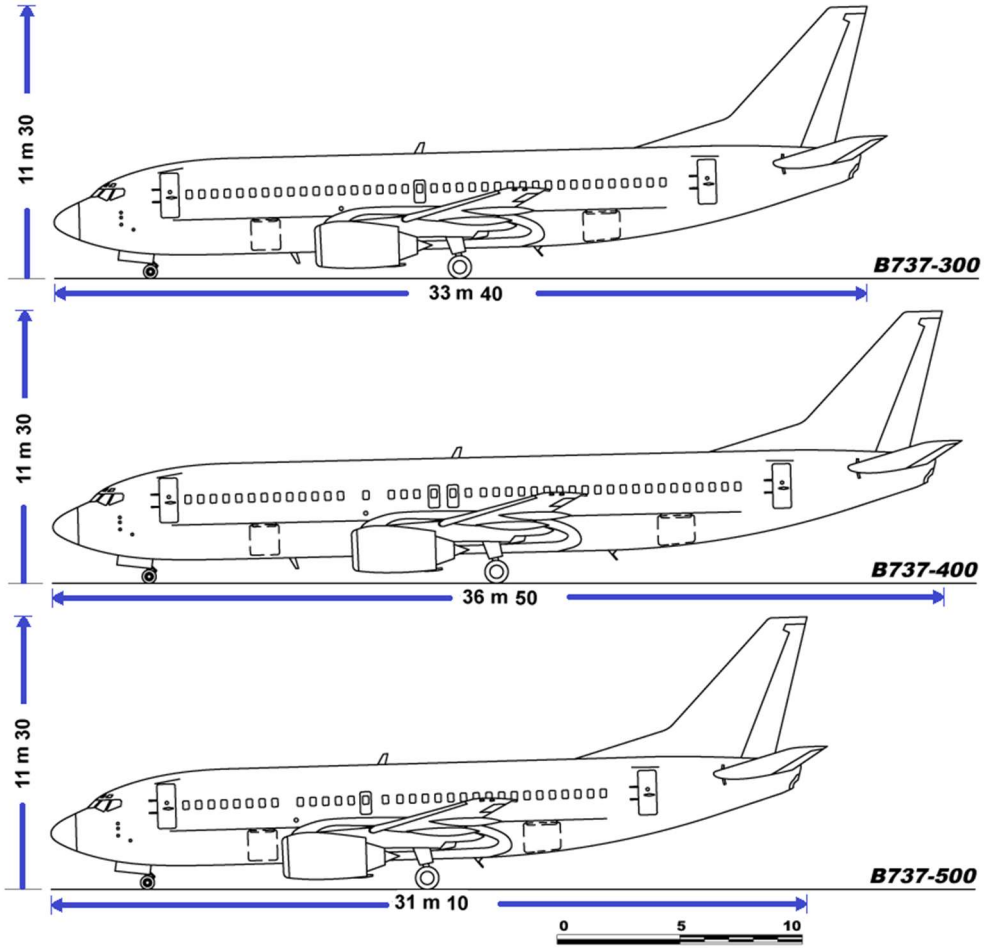
Boeing 737-300. Par rapport au 737-100/200 avion court courrier équipé de Pratt & Whitney JT 8-D, les nouveaux 737-300 puis –400 et –500 apportent : une capacité augmentée, un plus grand rayon d'action, 20 % de réduction de consommation de carburant et évidemment, une réduction importante du niveau de bruit. Boeing 737-400 - British Midlands (© DR)

Trois versions composent la seconde génération du court moyen-courrier Boeing 737 " Classic " conçue au début des années 1980 et produite à 1 988 exemplaires, entre 1984 et février 2000.

Lancée en mars 1981, la version standard du biréacteur dénommée 737-300 configurée pour 149 passagers est produite à 1 113 exemplaires. Elle est mise en service commercial en décembre 1984.

Cinq ans plus tard, en juin 1986, apparait une version allongée pouvant accueillir 171 passagers, le 737-400. Mise en service en octobre 1988, elle a été produite à 486 exemplaires.

Lancée en mai 1987, le dernier modèle de la famille, le 737-500, est une version raccourcie de 2,40 m offrant une capacité de 122 sièges. Surnommée initialement 737 Lite et parfois 737-1000 elle peut être équipée des trois variantes du CFM56-3 (-B1 de 82,3 kN, -B1 de 89 kN ou -C1 de 104,5 kN). Mise en service en mars 1990, elle a été produite à 389 exemplaires.

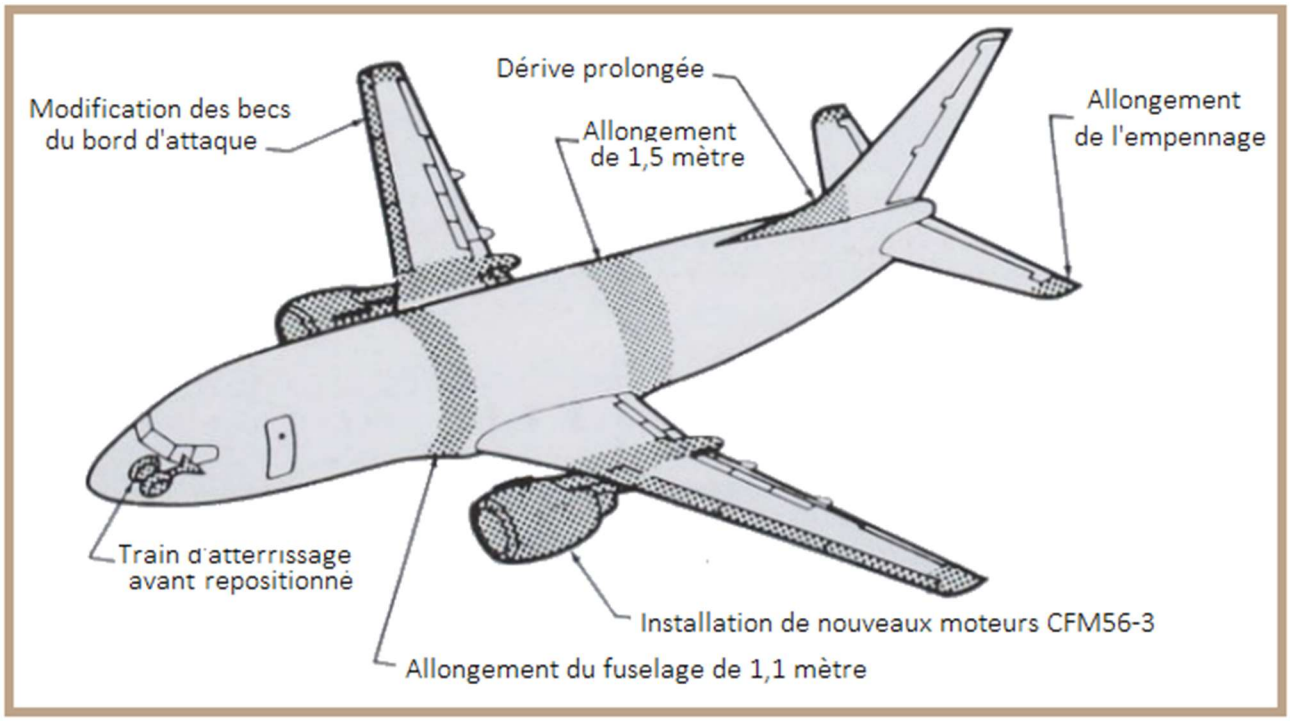


Boeing 737 " Classic ". Tous les 737 sont des avions de ligne bimoteurs à fuselage étroit. Cela signifie qu'ils ont tous deux moteurs et n'ont qu'un seul couloir entre les sièges.
B737-300 : modification de la dérive avec l'apparition d'une arête dorsale.
B737-400 : l'augmentation de la capacité en passagers (174) a entrainé l'ajout une deuxième sortie de secours sur l'aile. De plus, un patin anti-frottement a été placé sous le fuselage à l'arrière.
B737-500 : connu sous le nom de 737 Lite, c'est le plus court de la gamme. Il combine le fuselage du -200 et les équipements du -300 et du -400.

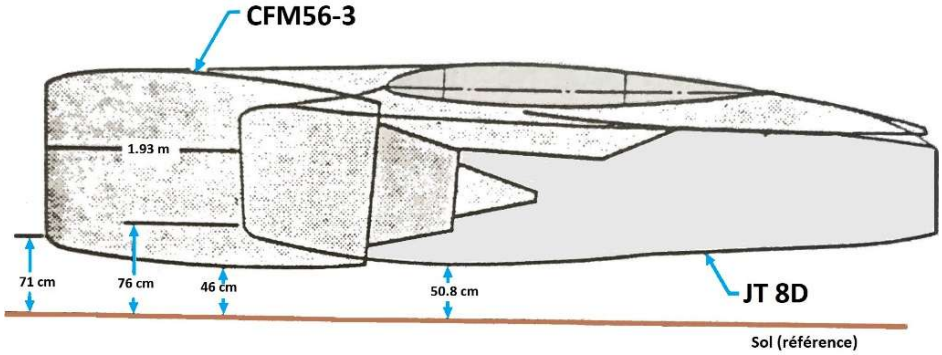
Exploité majoritairement par les compagnies aériennes civiles seule une douzaine d'exemplaires sont utilisés par certaines forces aériennes comme transport de VIP : Chine, Chili, Madagascar, Mexique et Corée du sud.

L'intérêt majeur de cet avion de ligne vient de sa disponibilité : celle de la version civile est de 99% et celle de la version militaire de 95%.

Au sein des compagnies aériennes un Boeing 737 " Classic " réalise en moyenne 4000 heures de vol par an. Le plus ancien B737-300 a accumulé 83 132 heures de vols en 77 301 vols commerciaux au sein de la compagnie Southwest Airlines. Mis en service en décembre 1984, et baptisé " The Spirit of Kitty Hawk " à l'occasion du 81ème anniversaire du vol des frères Wright, en décembre 1903, il a achevé sa carrière commerciale en janvier 2011.



Boeing 737-300 (© SAE). La réussite de l'intégration du CFM56-3 sur le Boeing 737 est la conception du mât en porte-à-faux qui positionne le moteur vers le haut et vers l'avant de l'aile plutôt que de le suspendre sous le profil aérodynamique. Cette configuration s'inspire de celle du Boeing 707-700.



La principale nouveauté, par rapport au 737-200, est la motorisation avec le CFM56-3 qui remplace le JT8-D. Le turboréacteur possède une soufflante de 152 cm de diamètre, soit une fois et demie le diamètre du moteur ancien, et pourtant la hauteur de l'avion et de ses ailes n'est pratiquement pas modifiée. Pour loger le moteur et conserver une garde au sol suffisante, le mât " projette " le moteur en avant de l'aile, et la nacelle possède un " fond plat " grâce au déport, sur le côté, des supports d'accessoires et du réservoir d'huile. Le résultat est une silhouette tout à fait particulière, que les initiés reconnaissent sans peine lorsque l'avion entre en service en décembre 1984.

Notes de fin

(1) Les essais d'ingestions d'oiseaux doivent permettre de maintenir 75% de sa poussée initiale sans arrêt du moteur.

(2) Ces arrêts moteurs en vol sont tous survenus alors que les avions étaient en phase de descente, moteurs au régime du ralenti vol. Dans cette condition, les marges de fonctionnement sont minimales. Au régime de ralenti vol ou sol, les vannes de décharge variables sont en position ouverture maximale alors que le régime de rotation du corps haute pression est à son minimum d'où l'intérêt de pouvoir extraire le maximum d'eau, de grêle hors de la bride d'entrée du compresseur haute pression. Une mesure temporaire de prévention, en l'attende de l'implémentation des modifications, en phase descente fut de recommander aux équipages de maintenir le régime de rotation à un niveau un peu supérieur à celui du ralenti vol.

(3) 5 Septembre 2003. Le CFM56-3C1 qui détient le record du monde de durée de vie sous l'aile (avant sa révision générale) porte le numéro de série 725 800. Monté en position 2 (à droite) sur le Boeing 737-500 (immatriculé HA-LER) sortie de chaîne le 26 septembre 1990. L'avion a d'abord porté les couleurs d'Hapag-Lloyd avant de rejoindre Malev, la compagnie nationale hongroise, le 21 décembre 1998. Il affichait à ce moment-là 28 600 heures de vol et 10 000 cycles.
Une rapide inspection visuelle montre que le moteur est resté propre malgré sa très longue utilisation. Quelques traces de cokéfaction sur la grille en nid-d'abeilles qui protège le corps haute pression contre les retours de flammes trahissent simplement l'utilisation intensive du CFM56.